



INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DE PHOTOGRAMMÉTRIE ET TÉLÉDÉTECTION

Commission VII (1980 - 1984)
Interprétation des informations

COLLOQUE INTERNATIONAL
INTERNATIONAL COLLOQUIUM

**SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS
EN TÉLÉDÉTECTION
SPECTRAL SIGNATURES OF OBJECTS
IN REMOTE SENSING**

Bordeaux (France), 12-16 Septembre 1983

**RÉSUMÉS
ABSTRACTS**

CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES
(C.N.E.S.)

INSTITUT NATIONAL
DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
(I.N.R.A.)

VARIABILITE INTRODUITE DANS DES MESURES DE REFLECTANCES SPECTRALES DE
COUVERTS VEGETAUX AGRICOLES PAR LES FACTEURS ETAT DU CIEL ET VENT

VARIABILITY INTRODUCED IN PLANT CANOPY SPECTRAL REFLECTANCE
MEASUREMENTS BY THE FACTORS SKY CONDITIONS AND WIND

D. LORD, P.A. DUBE

Département de phytologie, Université Laval,
Québec, Canada G1K 7P4

et

R.L. DESJARDINS, E.J. BRACH

Institut de recherches sur les terres et
Institut de recherches en génie et statistiques,
Section de la recherche, Agriculture-Canada
Ottawa, Ontario, Canada K1A 0C6

RESUME

Parmi les facteurs introduisant de la variabilité indésirable dans les mesures de réflectance spectrale prises au-dessus de couverts végétaux, ceux de type radiatif ont été moins étudiés. A l'aide d'expériences isolant certains de ces facteurs et de méthodes empiriques d'analyses, nos résultats montrent que la présence de radiation diffuse non-directionnelle dans la radiation solaire incidente n'introduit pas beaucoup de variabilité indésirable dans les mesures de réflectance spectrale. Ils montrent aussi que la présence de nuages vis-à-vis le disque solaire entraîne généralement une sous-estimation des réflectances mesurées sous ces conditions par rapport aux conditions de ciel serein. Il semble toutefois possible de corriger cette erreur et ainsi d'utiliser indifféremment l'une ou l'autre de ces deux conditions radiatives pour relier les mesures de réflectances spectrales prises au niveau du sol à des paramètres du couvert végétal.

Le vent est un autre facteur qui introduit passablement de variabilité indésirable dans ces mesures. Si la structure du couvert, la région spectrale et la vitesse du vent font varier l'importance de ce facteur, il n'en demeure pas moins que ces fluctuations continues dans le temps peuvent conduire à mesurer des réflectances qui ne sont pas représentatives de la réflectance réelle du couvert végétal au moment de la mesure.

SUMMARY

Many factors including the radiative ones introduce undesirable variability in measurements of spectral reflectance. Based upon experimental studies related to one specific factor at a time and also on empirical method of analysis, our results show that non-directional diffuse radiation from incident solar radiation introduce little undesirable variability in spectral reflectance measurements. They also show that clouds hiding the solar disc lead usually to an underestimation of reflectances measured under these conditions compared to those measured under clear sky. However, it seems easy to account for this difference. It then implies that the measurement of the spectral reflectances at the ground level under either one of these radiative conditions will give values which will be possible to relate to plant canopy structure.

1) INTRODUCTION

Une juste interprétation d'une valeur de réflectance spectrale prise à un instant donné au-dessus d'un couvert végétal nécessite une connaissance adéquate de facteurs qui décrivent aussi bien le couvert que le contexte angulaire à l'instant de la mesure (1). Le contexte radiatif au moment de la mesure doit aussi être caractérisé, car il a été montré que divers facteurs tels composition spectrale et intensité de la radiation incidente (2, 3), rapport de radiation directe sur radiation diffuse (4), conditions atmosphériques (5, 6), et quantité et type de couverts nuageux (7) sont autant de facteurs de type radiatif qui influencent les mesures de réflectances spectrales de couverts végétaux. Certains de ces facteurs masquent partiellement ou complètement la cible visée par les avions ou les satellites d'observation de la terre, de telle sorte que l'analyse de leur effet a été négligée en télédétection agricole. Cependant, leur influence sur les mesures de réflectances spectrales de couverts végétaux doit être connue par tous ceux qui désirent utiliser les propriétés spectrales des plantes en vue d'estimer des paramètres de structure de végétation.

Le principal objectif de cet article consiste à évaluer l'importance de la variabilité introduite par les fluctuations continues des facteurs de type radiatif sur les réflectances rouge et rouge lointain de couverts végétaux agricoles. L'effet du vent, un autre facteur de l'environnement mais qui n'est pas de type radiatif, sera également discuté en regard de son effet ponctuel sur ces mêmes réflectances.

2) MATERIEL ET METHODES

Les données radiométriques utilisées pour nos analyses ont été recueillies à Ottawa au cours de l'été 1982 au-dessus de parcelles de blé, d'orge, de luzerne, de colza, de maïs et de tournesol semées en rangées NNO-SSE sur un loam sableux fertilisé de type Rubicond. Elles ont été mesurées à l'aide d'un spectroradiomètre multibande mobile (8) qui contient quatre filtres de spectre étroit caractérisés par des longueurs d'onde centrale de transmission situées dans les régions de rouge lointain (790,4 et 739,9 nm) et du rouge (675,5 et 647,8 nm). L'appareil se déplace automatiquement au-dessus de parcelles de 10m x 8 m et ses deux détecteurs mesurent successivement la radiation incidente hémisphérique et la radiation réfléchie selon un angle de visée de 8 degrés. Le rapport de ces deux mesures donne la réflectance hémisphérique-conique (9) qui sera employée lors des analyses subséquentes. Quatre secondes sont nécessaires pour obtenir une réflectance du couvert à une longueur d'onde donnée; 16 secondes séparent donc deux mesures consécutives de réflectance à cette longueur d'onde.

3) RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Contribution de la radiation diffuse à la radiation réfléchie

Pour vérifier l'influence des facteurs de type radiatif sur les mesures de réflectance spectrale, il faut d'abord estimer l'importance de l'erreur introduite par la présence d'un rayonnement incident partiellement directionnel pour obtenir un paramètre qui, théoriquement, ne peut se calculer qu'en condition de rayonnement incident directionnel. Cette estimation requiert deux paramètres: le pourcentage de radiation incidente diffuse et le pourcentage de radiation réfléchie qui provient de la réflexion de la composante diffuse de la radiation incidente. Le premier élément s'obtient en intercalant une mince bande métallique entre le disque solaire et le détecteur de la radiation incidente, alors que le deuxième élément s'obtient en insérant un carton noir entre le disque solaire et la surface réfléchissante.

Les résultats exprimés au tableau 1 montrent que la proportion d'énergie réfléchie due à la composante diffuse de la radiation incidente est dépendante de la surface réfléchissante de la longueur d'onde et du pourcentage de radiation diffuse dans la radiation incidente.

Les deux communautés végétales se comportent comme des surfaces parfaitement diffusantes dans la région spectrale du rouge lointain. En effet, les proportions de radiation diffuse et de radiation réfléchie provenant de la réflexion de la composante diffuse incidente sont sensiblement les mêmes pour cette région spectrale, suivant ainsi le comportement d'une plaque parfaitement diffusante. Cette situation se retrouve aussi pour le gazon dans la région rouge, alors que le colza réfléchit proportionnellement moins de radiation diffuse incidente vers le détecteur de la radiation réfléchie que de radiation directe. A notre avis, la différence entre les deux couverts pour la région du rouge proviendrait d'un recouvrement du sol plus grand dans le cas du gazon (100%) que dans le cas du colze (70%), et par une structure verticale plus développée chez ce dernier. En effet, combinés au fait que l'angle d'élévation solaire est élevé et que le sol nu se caractérise par une réflectance rouge plus grande que celle des feuilles vertes, ces deux facteurs entraîneraient une plus grande réflexion de la composante directe de la radiation incidente rouge. De son côté, la composante diffuse serait moins affectée par ces facteurs car elle provient de toutes les directions de l'hémisphère. Cette différence n'apparaît pas pour la radiation rouge lointain, sa très faible absorption par les plantes atténuant grandement l'effet des facteurs de structure de végétation sur la réflexion.

La radiation diffuse introduit donc une variabilité indésirable dans les mesures de réflectance spectrale. Pour estimer son importance, nous allons

utiliser les résultats obtenus sous deux conditions différentes: 1) un couvert végétal à structure verticale quasi-inexistante et mesuré lors d'une période de faible dispersion atmosphérique (le gazon ras), 2) un couvert à structure verticale plus développée et mesuré lors d'une période de forte dispersion (le colza) (tableau 1). A l'aide de ces résultats, nous allons calculer les réflectances directes, c'est-à-dire celles obtenues lorsque la composante diffuse est exclue de la radiation incidente totale et que seule la réflexion de la composante directe est conservée (tableau 2). Les calculs de l'erreur relative introduite par la radiation diffuse montrent que, pour les couverts végétaux, cette erreur n'est importante que pour la région rouge d'un couvert à structure verticale bien développée, cette dernière étant de deux à trois fois supérieure aux autres. Cependant, les faibles différences absolues entre les réflectances directes et totales font que l'utilisation de l'une par rapport à l'autre pour estimer l'indice de surface foliaire (LAI) de couverts végétaux par une équation de régression linéaire (10) n'introduit pas d'erreurs très élevées (tableau 3). Bien entendu, plus la valeur du paramètre végétatif est élevée, plus l'erreur absolue entre l'estimation et la valeur réelle grandira. De toute cette analyse, il ressort que, comme pour le facteur de réflectance (11), la présence de radiation non-directionnelle dans la radiation incidente n'influence pas significativement les valeurs de réflectances par rapport à celles qui seraient mesurées sous condition d'irradiation directionnelle. L'erreur introduite par ce facteur semble donc négligeable pour ceux qui utilisent les réflectances spectrales dans le but d'estimer des paramètres végétaux.

Pour une surface dénudée tel le sol nu, l'importance de n'avoir que de la radiation directionnelle est accrue, la radiation réfléchie provenant surtout de la réflexion de la composante directe de la radiation incidente totale (tableau 1). Ce phénomène est probablement causé par les fortes propriétés de réflexion spéculaire du sol nu et par l'angle d'élévation solaire élevé lors des périodes de mesures. A d'autres moments de la journée, cette surface apparaîtrait probablement plus parfaitement diffusante (tout en ne l'étant pas plus en réalité). Les mesures de réflectances spectrales prises lorsque le pourcentage de recouvrement du sol est faible doivent donc être analysées avec prudence.

3.2 Effet des nuages

Sous les conditions climatiques de l'est du Canada, un suivi adéquat d'un couvert végétal par mesures de réflectances spectrales peut difficilement se faire en utilisant uniquement les journées de ciel serein. Il devient alors important de connaître l'influence des nuages sur les mesures

de réflectances spectrales et d'évaluer s'il n'y aurait pas moyen d'utiliser les mesures effectuées au cours de ces journées afin de les relier à celles prises sous ciel serein.

Des résultats de réflectances spectrales prises à divers moments au cours de journées calmes partiellement nuageuses ont été utilisées pour calculer les différences existant entre des valeurs de réflectance totale mesurées sous conditions de disque solaire caché et des valeurs de réflectance totale mesurées sous conditions de disque solaire apparent et de nuages éloignés du soleil (tableau 4). La présence de nuages entraîne généralement une sous-estimation des réflectances spectrales, le rapport réflectance sous nuage sur réflectance sous soleil étant plus grand que un. Cependant, ce rapport n'excède pas 1,16 pour la région rouge lointain et 1,15 pour la région rouge. Pour les cas étudiés ici, il suffit donc de normaliser les réflectances prises sous disque solaire caché à celles prises sous condition de disque solaire apparent, pour être en droit de suivre un couvert végétal en utilisant indifféremment l'une ou l'autre de ces réflectances. Cette normalisation se fait en multipliant les réflectances prises sous disque solaire caché par 1,1 dans le cas de la région du rouge lointain et par 1,05 dans le cas de la région du rouge.

Il ne faut toutefois pas conclure immédiatement à l'universalité de cette normalisation empirique et ainsi régler le problème de la présence de nuages vis-à-vis du disque solaire. En effet, il faudra la vérifier pour un plus grand nombre de situations radiatives et pour différents types de couverts végétaux mesurés à divers moments de leur saison de croissance. Il faudra aussi se pencher sur l'explication théorique entourant ce résultat afin de comprendre qu'est-ce qui amène une radiation incidente de provenance hémisphérique non-uniforme (ciel nuageux) à se comporter comme une radiation incidente de provenance beaucoup plus directionnelle (ciel serein).

3.3 Effet du vent sur les mesures ponctuelles des réflectances spectrales

Le vent est un facteur de l'environnement physique d'un couvert végétal qui varie continuellement et rapidement, causant ainsi un mouvement plus ou moins marqué des individus composant ce couvert. Ce mouvement représente un élément supplémentaire de variabilité lors de mesures de réflectances spectrales de couverts végétaux, élément qui est plus important pour les espèces à structure verticale développée (12). Faute d'espace, la présente section va se limiter à montrer que cette variabilité peut s'avérer importante.

Afin d'isoler le facteur vent, nous avons procédé de la façon suivante. Le spectroradiomètre est d'abord stabilisé au-dessus d'une section fortement végétalisée d'un couvert végétal, ce qui permet d'éliminer de la variabilité

totale les facteurs de végétation et de sol. Les données radiométriques sont alors prises au cours de toute la journée, puis regroupées en période de 30 minutes afin d'éliminer l'influence de l'angle d'élévation solaire. Enfin, pour enlever le facteur état du ciel, seules les périodes de faible variation de la radiation incidente vont servir aux fins d'analyses et d'interprétations.

La variabilité introduite par le facteur vent varie au cours d'une journée (figure 1a, 1b). Il n'est pas possible d'isoler l'effet du changement dans la position du soleil, mais il semble évident que la diminution de la vitesse du vent est partiellement responsable de la diminution de la variabilité des réflectances spectrales. Le facteur développement vertical de la structure de végétation va aussi déterminer quelle influence aura le vent (figure 1c, 1d), une structure verticale développée étant plus sensible aux fluctuations continues de la vitesse du vent. La région spectrale du rouge montre une plus grande sensibilité au vent que la région du rouge lointain (figure 1e, 1f), ce qui est en accord avec les résultats de Rao et al. (12).

Ces exemples graphiques montrent que le vent peut être un important facteur de variation lors de mesures de réflectances spectrales.

REFERENCES

- 1) COLWELL, J.E. 1974. Rem. Sens. Environ. 3(3): 175-183
- 2) GATES, D.M. 1966. Science 151: 523-529
- 3) KRIEBEL, K.T. 1978. Rem. Sens. Environ. 7(1): 81-84
- 4) FUCHS, M., G. STANHILL et A.G. WAANDERS. 1972. Israel J. Agric. Res. 22(2): 63-75
- 5) KRIEBEL, K.T. 1976. Rem. Sens. Environ. 4: 257-264
- 6) DAVE, J.V. 1980. Rem. Sens. Environ. 10(2): 87-100
- 7) BLAD, B.L. et D.G. BAKER. 1972. Agron. J. 64(3): 277-280
- 8) BRACH, E.L., R.L. DESJARDINS, D. LORD et P.A. DUBE. 1981. Proc. Intern. Colloque on spectral signature of objects in Rem. Sens., Avignon
- 9) NICODEMUS, F.E., J.C. RICHMOND, J.J. HSIA, I.W. GINSBERG et T. LIMPERIS. 1977. National Bureau of Standards. Mon. 160, Washington D.C., 52 p.
- 10) LORD, D. et P.A. DUBE. 1981. Rapport d'étape, Contrat DSUB0-332, Agriculture-Canada
- 11) ROBINSON, B.F. et L.L. BIEHL. 1979. SPIE 196: 16-26
- 12) RAD, V.R., E.J. BRACH et A.R. MACK. 1979. Agron. J. 71(3): 515-518

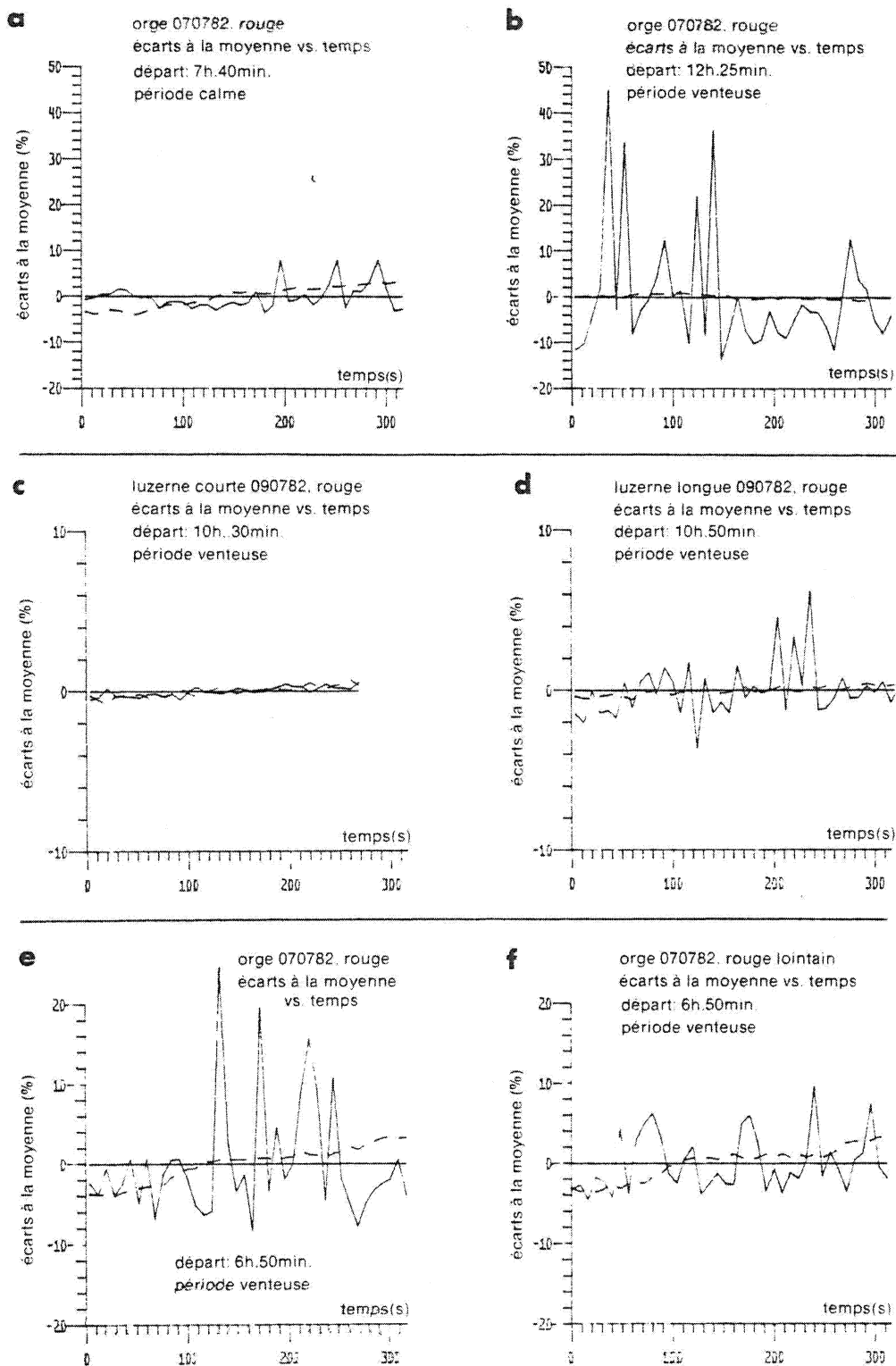


Figure 1: Ecarts à la moyenne pour la radiation incidente (---) et les réflectances (—) au cours d'une période de 30 minutes. Les courbes sont construites à partir de valeurs mesurées à toutes les huit secondes.

TABLEAU 1: Pourcentage de radiation diffuse dans la radiation incidente totale (1-) et pourcentage de la radiation réfléchié totale provenant uniquement de la réflexion de la composante diffuse de la radiation incidente (2-) pour différentes longueurs d'onde et diverses surfaces réfléchissantes. Données prises le 5 août 1982

Longueur d'onde (nm)	Gazon ras (12h)		Colza (10h45)		Plaque parfaitement diffusante (11h15)		Sol nu (11h30)	
	1-	2-	1-	2-	1-	2-	1-	2-
	%							
790,4	15	21	37	34	15	18	37	9
739,9	15	21	37	32	15	18	37	9
675,5	15	18	38	23	15	-	38	12
647,8	16	18	38	26	15	-	38	11

TABLEAU 2: Valeurs de réflectance totale (radiation réfléchié totale/radiation incidente totale), de réflectance directe (radiation réfléchié provenant de la réflexion de la composante directe de la radiation incidente/radiation incidente directe) et de différences absolues et relations entre les deux, pour les régions spectrales rouge (R) et rouge lointain (RL)

		Réflectance		Différence absolue (%)	Différence relative (%)
		totale (%)	directe (%)		
Gazon ras	RL	40	37,2	2,8	7,5
	R	10	9,7	0,3	3,0
Colza	RL	40	42,5	- 2,5	5,9
	R	10	12,1	- 2,1	17,4
Sol nu	RL	30	43,3	-13,3	30,7
	R	20	41,5	-12,5	30,2

Exemple de calcul de la réflectance directe pour le gazon ras et la région RL:

- Supposons: réflectance totale = 40% et radiation incidente totale = 100 unités = radiation réfléchié totale = 40 unités
- Selon tableau 1, radiation incidente diffuse = 15 unités = radiation incidente directe = 85 unités
- Selon tableau 1, radiation réfléchié provenant de la réflexion de la composante diffuse incidente = 21% de 40 unités = 8,4 = radiation réfléchié provenant de la réflexion de la composante directe incidente = 31,6 unités
- Réflectance directe égale donc $31,6 \div 85 = 37,2\%$, soit 2,8% de moins que la réflectance totale

TABLEAU 3: Indices de surface foliaire estimés (LAI) de deux communautés végétales. Les estimations sont faites en calculant le rapport des réflectances rouge lointain sur rouge pour les réflectances totales et pour les réflectances directes calculées au tableau 2, puis en insérant chacun des rapports dans une équation de régression qui estime le LAI à partir d'un rapport de réflectances rouge lointain sur rouge

	Indice de surface foliaire estimé	
	1- réflectance totale utilisée	2- réflectances directes utilisées
Gazon ras	1,31	1,22 (93% de 1,31)
Colza	1,31	1,06 (81% de 1,31)

TABLEAU 4: Moyennes par journée et par longueur d'onde du rapport réflectance mesurée sous condition de disque solaire caché par les nuages sur réflectance mesurée sous condition de disque solaire apparent. Les mesures des deux réflectances ayant servi à calculer un rapport ont été prises à l'intérieur d'une période n'excédant pas 15 minutes, au moins quatre périodes différentes dans la journée ayant été mesurées pour chacune des journées. Longueur d'onde (nm)

		790,4	739,9	675,5	647,8
1982-07-16	tournesol	1,07 ± 2,6%	1,06 ± 2,3%	0,98 ± 7,0%	1,00 ± 5,3%
1982-07-20	tournesol	1,07 ± 1,8%	1,07 ± 2,4%	1,06 ± 2,4%	1,07 ± 1,9%
1982-07-26	colza	1,13 ± 8,3%	1,07 ± 3,3%	0,99 ± 5,0%	0,99 ± 4,1%
1982-07-29	orge	1,13 ± 7,1%	1,16 ± 12,0%	1,15 ± 9,3%	1,11 ± 7,3%